System Engineering and Productivity/ 2024/ Vol.4/ No.1/ 1-13

System Engineering and Productivity

DOI: 10.22034/msb.2024.2025845.1198

Evaluation and Selection of Sustainable Suppliers by Providing a Decision Support System Based on a New Data Envelopment Analysis Model and Cumulative Star Utility

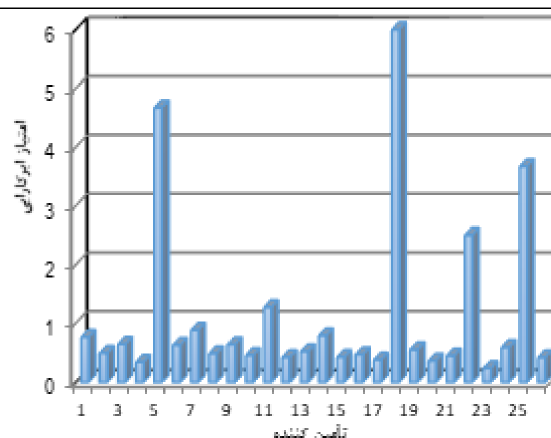
Seyyed Akbar Gholamian

Lecturer, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

HIGHLIGHTS

- The issue of choosing a supplier is considered a decision due to the consideration of multiple criteria.
- The current research studies decision-making techniques.
- According to the results obtained from the present research, it is possible to evaluate and measure the desirability of Sapco's suppliers.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: May 11, 2023

Received in revised form: February 12, 2024

Accepted: April 13, 2024

Available online: May 21, 2024

*Correspondence:

gholamian@pnu.ac.ir

How to cite this article:

Gholamian, S.M. (2024). Evaluation and Selection of Sustainable Suppliers by Providing a Decision Support System Based on a New Data Envelopment Analysis Model and Cumulative Star Utility. *System Engineering and Productivity*, 4(1) 1-13.

Keywords:

Data envelopment analysis

Cumulative Star Utility

Sustainable supplier selection

Decision support system

ABSTRACT

Decision-making around sustainable supplier selection is a key issue in supply chain management that has become an important goal for Sapco in recent years. The supplier selection problem is considered a decision-making problem due to the consideration of multiple criteria. As a result, some of the most widely used decision-making approaches known in this field can be used to solve these problems. In this regard, considering the importance of the problem, the present study attempts to present a decision support system based on data envelopment analysis and cumulative star utility by studying some decision-making techniques and examining study gaps. The new decision support system uses three steps to evaluate and select suppliers of the problem. In the first step, decision-making indicators and options were extracted by reviewing the research background, interviewing experts, and reviewing documents available in the organization. In the second step, the decision-making options were ranked and efficient units were identified by implementing the data envelopment analysis model. Finally, in the third step, by implementing the cumulative utility star method (UTASTAR), the utility of Sapco's efficient units was determined to select the most desirable supplier. According to the results obtained from the present study, Sapco's suppliers can be evaluated and their utility can be measured, and with a decision support system, the results can be presented with greater confidence for decision-making.

Publisher: University of Eyvanekey

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۳/ دوره ۴/ شماره ۱/ صفحه ۱-۱۳

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

DOI:10.22034/msb.2024.2025845.1198

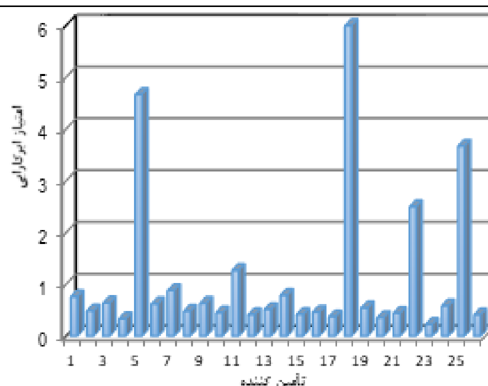
IRAN LOGESTICS SOCIETY
انجمن لجستیک ایران

ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده پایدار با ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها و مطلوبیت تجمعی ستاره

سید اکبر غلامیان

مربی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده گرافیکی



برجسته‌ها

- مسئله انتخاب تأمین‌کننده به دلیل در نظر گرفتن معیارهای متعدد یک تصمیم‌گیری محسوب می‌گردد.
- تحقیق حاضر تکنیک‌های تصمیم‌گیری را مطالعه می‌کند.
- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌توان تأمین‌کنندگان شرکت ساپکو را ارزیابی و مطلوبیت‌سنجی نمود.

چکیده

تصمیم‌گیری پیرامون انتخاب تأمین‌کننده پایدار یک موضوع کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین است که در سال‌های اخیر به یک هدف مهم برای شرکت ساپکو تبدیل‌شده است. مسئله انتخاب تأمین‌کننده به دلیل در نظر گرفتن معیارهای متعدد یک تصمیم‌گیری محسوب می‌گردد. درنتیجه می‌توان از برخی از پرکاربردترین رویکردهای تصمیم‌گیری شناخته‌شده در این حوزه برای حل این مسائل بکار گرفت. در این راستا با توجه به اهمیت مسئله، تحقیق حاضر سعی دارد بامطالعه برخی تکنیک‌های تصمیم‌گیری و بررسی شکاف‌های مطالعاتی، به ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر تحلیل پوشش داده‌ها و مطلوبیت تجمعی ستاره بپردازد. سیستم پشتیبان تصمیم جدید از سه‌گام به‌منظور ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان مسئله بهره می‌گیرد. در گام نخست شاخص‌ها و گزینه‌های تصمیم‌گیری، از طریق بررسی پیشینه پژوهش، مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد موجود در سازمان استخراج گردیدند. در گام دوم، با پیاده‌سازی مدل تحلیل پوشش داده‌ها به رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم‌گیری و مشخص نمودن واحدهای کارا پرداخته شد. درنهایت در گام سوم با پیاده‌سازی روش مطلوبیت تجمعی ستاره (UTASTAR)، میزان مطلوبیت واحدهای کارا شرکت ساپکو جهت انتخاب مطلوب‌ترین تأمین‌کننده مشخص گردیدند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌توان تأمین‌کنندگان شرکت ساپکو را ارزیابی و مطلوبیت‌سنجی نمود و با یک سیستم پشتیبان، تصمیم نتایج را با اطمینان بیشتری جهت تصمیم‌گیری ارائه نمود.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱

بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

ارائه برخط: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

*نویسنده مسئول:

gholamian@pnu.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

تحلیل پوششی داده‌ها

مطلوبیت تجمعی ستاره

انتخاب تأمین‌کننده پایدار

سیستم پشتیبان تصمیم

شرکت ساپکو

۱- مقدمه

در فضای رقابت جهانی، مدیریت زنجیره تأمین به‌عنوان عاملی مؤثر در بهبود روابط سازمان‌ها پدیدار شده است. یکی از مسائل مهم و کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین، مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد. ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده فرآیند مقایسه و یافتن تأمین‌کننده‌ای مناسب است که قادر به تأمین نیازهای مشتریان با بهترین کیفیت مورد انتظار، در حجم و زمان مناسب باشد. با توجه به اهمیت مسئله، در طی سال‌های اخیر ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در زنجیره تأمین چالشی برای مدیران سازمان‌ها بوده است، چراکه انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار کار ساده‌ای نیست (Ballew & Schnorbus, 1994; Handfield & Nichols, 1999). برای رفع پیچیدگی‌های مسئله تاکنون پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته و فاکتورها و مدل‌های تصمیم‌گیری متفاوتی ارائه‌شده است. در اکثر پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر صورت گرفته فاکتورها و معیارهای بسیاری مطرح هستند که انتخاب بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد؛ اما در میان فاکتورهای متعدد باید به این نکته توجه داشت که در نظر گرفتن برخی از فاکتورهای مهم اجتماعی و اقتصادی و زیست‌محیطی نقش کلیدی در دستیابی به زنجیره تأمین پایدار و بلندمدت بازی می‌کنند (Bai & Sarkis, 2010; Seuring& Müller, 2008). همچنین تکنیک‌ها و مدل‌های متفاوتی در رابطه با انتخاب تأمین‌کننده توسعه‌یافته‌اند که ازجمله تکنیک‌های توسعه‌یافته می‌توان به فرآیند تحلیل سلسله‌مراتب[۱]، فرآیند تحلیل شبکه‌ای[۲]، برنامه‌ریزی خطی[۳]، برنامه‌ریزی ریاضی[۴]، برنامه‌ریزی چندهدفه[۵]، شبکه‌های عصبی[۶] و تحلیلی پوشش داده‌ها[۷] اشاره کرد (Chai et al., 2013). بیشتر تکنیک‌های اشاره‌شده به مقایسه و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد، درحالی‌که تکنیکی که تأمین‌کنندگان را ارزیابی و به انتخاب مطمئن و نظام‌مند بپردازد اشاره نشده است؛ بنابراین احساس می‌شود که سیستم پشتیبان تصمیم، مطلوبیت تجمعی ستاره پاسخی به این نیاز است. در پژوهش حاضر، برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان شرکت ساپکو که مسئول تأمین قطعات یدکی ایران‌خودرو را دارد از یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدل جدید تحلیل پوشش داده‌ها و روش مطلوبیت تجمعی ستاره استفاده‌شده است. علت استفاده از روش مطلوبیت تجمعی ستاره در میان مدل‌های تصمیم‌گیری متعدد، ارزیابی و تحلیل تابع مطلوبیت آن است. به‌عبارت‌دیگر با به دست آوردن تابع مطلوبیت، مدل موردنظر میزان مطلوبیت هر تأمین‌کننده را برآورد می‌کند (Ehsanifar et al., 2021). ورودی روش موردنظر، رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان است که با استفاده از مدل پیشنهادی به‌دست‌آمده است. مدل پیشنهادی توسعه‌یافته مدل کلاسیک تحلیل پوشش داده‌ها است. مدل کلاسیک تحلیل پوشش داده‌ها در سال ۱۹۸۷ توسط چارنز و همکاران (Charnes et al., 1978) ارائه‌شده از آن زمان تاکنون جهت انتخاب و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان مورداستفاده قرارگرفته است (Azadi et al., 2015). در مدل‌های متعارف تحلیل پوششی داده‌ها فرض بر این است که داده‌ها مطلوب، قابل‌کنترل و مثبت و همه ورودی‌ها و خروجی‌ها هم ارزش و هم اهمیت هستند (Ruggieroet al., 1996; Syrjänen et al., 2004). درحالی‌که در مسائل واقعی شرایطی رخ می‌دهد که ممکن است ویژگی‌های فوق را نداشته باشند؛ بنابراین مورد مطالعاتی این پژوهش دارای داده‌هایی هست که ما را مجاب کرد تا مدلی ارائه دهیم تا قابلیت به‌کارگیری هم‌زمان شرایط را داشته باشد. لذا مدل تحلیل پوششی داده‌های جدیدی ارائه می‌شود که قادر به به‌کارگیری هم‌زمان داده‌های نامطلوب، غیرقابل‌کنترل و غیرمثبت می‌باشد. از سوی دیگر در مطالعه موردی در تأمین‌کننده‌های ساپکو بین ارزش ورودی‌ها و خروجی‌ها تفاوت وجود دارد و ما این تفاوت‌ها را به‌صورت محدودیت‌های وزنی به مدل اضافه کرده‌ایم. در این پژوهش، شرکت موردمطالعه ساپکو تمایل دارد بهترین تأمین‌کننده پایدار صفحه فشار کلاچ را تعیین کند؛ بنابراین در راستای دستیابی به هدف شرکت ساپکو، ابتدا با کمک مدل جدید تحلیل پوشش داده‌ها تأمین‌کنندگان شرکت را رتبه‌بندی و با یک سیستم پشتیبان تصمیم، تأمین‌کننده پایدار صفحه فشار کلاچ تعیین می‌شود.

---
[1] Analytic Hierarchy Procces (AHP)
[2] Analytic Network Process (ANP)
[3] Linear Programming (LP)
[4] Mathematical Programming (MP)
[5] Multi Objective Programming (MOP)
[6] Neural Networks (NN)
[7] Data Envelopment Analysis (DEA)

پژوهش حاضر از شش بخش اصلی تشکیل‌شده است. ابتدا در بخش دوم چارچوب نظری و مفهومی پژوهش ارائه‌شده است. در بخش سوم مدل تحلیل پوشش داده‌های پیشنهادی برای ارزیابی و رتبه‌بندی ارائه و توضیح داده‌شده؛ در بخش چهارم الگوریتم پیشنهادی و مراحل آن بیان‌شده و در ادامه فرآیند پژوهش در بخش پنجم مطالعه موردی ارائه می‌شود و نهایتاً در بخش ششم نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل پیشنهادی در فرآیند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده در شرکت ساپکو موردبحث قرار می‌گیرد.

۲- چارچوب نظری و مفهومی پژوهش

۲-۱- تحلیل پوشش داده‌ها و مدل RDM

فرض کنیم n واحد تصمیم‌گیرنده DMU_j (j=1,...,n)، m ورودی X_{ij} (i=1,...,m) را مصرف کرده تا s خروجی y_{rs} (r=1,...,s) تولید کنند. حال به‌منظور ارزیابی عملکرد این واحدهای تصمیم‌گیرنده مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ارائه‌شده‌اند. در مدل‌های متعارف تحلیل پوشش داده‌ها همه ورودی‌ها و خروجی‌ها مثبت و معلوم هستند، ولی امکان دارد شرایطی رخ دهد که برخی داده‌های ورودی و خروجی منفی باشند. بر این اساس مدل (RDM) که توسط پورتلا و همکاران (Portela et al., 2004) ارائه‌شده، بسیاری از کاستی‌های مدل‌های قبل را رفع می‌کند. این مدل جهت ارزیابی عملکرد داده‌ها در حضور داده‌های منفی به‌صورت زیر معرفی‌شده است (Portela et al., 2004):

$$\begin{aligned} \max \quad & \beta \\ s.t \quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + t_i^- = x_{io} - \beta L_{io}^-, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - t_r^+ = y_{ro} + \beta L_{ro}^+, \quad r = 1, \dots, s, \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \\ & t^- \geq 0, \; t^+ \geq 0, \; \lambda \geq 0. \end{aligned} \qquad (1)$$

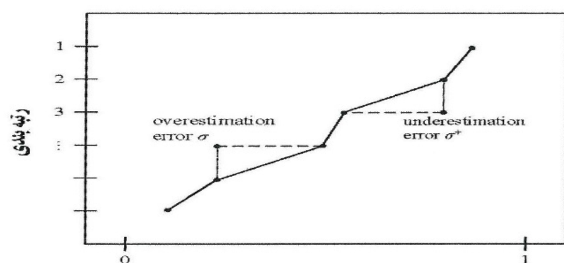
که در آن L_{io}^- و L_{ro}^+ به‌صورت رابطه (۲) تعریف شده‌اند.

$$\begin{aligned} & L_{io}^- = x_{io} - \min_j \{x_{ij}\}, \; (i = 1, \dots, m), \\ & \text{And} \\ & L_{ro}^+ = \max_j \{y_{rj}\} - y_{ro}, \; (r = 1, \dots, s) \end{aligned} \qquad (2)$$

مدل (۱) میزان ناکارایی DMU_o را محاسبه می‌کند. بر این اساس امتیاز کارایی بر اساس رابطه $1 - \beta^*$ تعریف می‌شود.

۲-۲- روش مطلوبیت تجمعی ستاره

این روش توسط سیسکوس و یاناکوپلس (Yannacopoulos& Siskos, 1985) در سال ۱۹۸۵ ارائه‌شده است. این روش نتیجه اصلاح‌شده روش اولیه مطلوبیت تجمعی است. درروش مطلوبیت اولیه، برای هر فعالیت $a \in A_R$ خطایی مستقل تحت عنوان $\sigma(a)$ تعریف‌شده که باید حداقل شود، اما در مدل مطلوبیت تجمعی ستاره یک خطای مثبت دوبل مطابق با نمودار **۱** تعریف می‌کند. الگوریتم مطلوبیت تجمعی ستاره به ترتیب مطابق ۵ گام عنوان‌شده زیر است (Ehsanifar et al., 2021):



شکل (۱): منحنی رگرسیون توصیفی بر اساس مطلوبیت کلی.

گام اول: ایجاد مجموعه مرجع $A_R = \{a_1, \dots, a_n\}$، اعضای این مجموعه به نحوی مرتب‌شده‌اند که a_1 بهترین و در رأس رتبه‌بندی و a_m بدترین و انتهای رتبه‌بندی است. با توجه به اینکه رتبه‌بندی R به‌صورت نزولی بوده، لذا برای هر زوج متوالی (a_k, a_{k+1}) ممکن است بر هم ارجحیت داشته باشند $(a_k \succ a_{k+1})$ و یا $(a_k \prec a_{k+1})$.

گام دوم: ابتدا مقادیر مطلوبیت حاشیه‌ای[1] $u_i(g_i)$ را به دست آورده و سپس بر اساس متغیرهای w_{ij} و مطلوبیت تجمعی هر گزینه را مطابق رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$u_i(g_i(a)) = \sum_{k=1}^{q-1} w_{ik} + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} w_{iq} \qquad \forall i = 1,2,\dots,N \qquad (3)$$

گام سوم: برای هر زوج گزینه پشت سر هم در رتبه‌بندی انجام‌شده روی گزینه‌های کلیدی توابع، خطای دوگانه مطابق رابطه (۴) بیان کرده:

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = u[g(a_k)] - \sigma^+(a_k) \dots \; \sigma^-(a_k) - u[g(a_{k+1})] + \sigma^+(a_{k+1}) - \sigma^-(a_{k+1}) \qquad (4)$$

[1] Marginal Utility Value

گام چهارم: مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را حل می‌نمائیم:

$$
\begin{aligned}
&[min]\, z = \sum_{i=1}^{m} (\sigma^{+}(a_k) + \sigma^{-}(a_k)) \\
&subjectto \\
&\Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \partial \quad if \quad a_k \succ a_{k+1} \\
&\Delta(a_k, a_{k+1}) = 0 \quad if \quad a_k \sim a_{k+1} \\
&\textstyle\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{\alpha_i - 1} w_{ij} = 1 \\
&w_{ij} \geq 0,\ \sigma^{+}(a_k) \geq 0,\ \sigma^{-}(a_k) \geq 0, \\
&\forall i, j, k
\end{aligned} \tag{۵}
$$

گام پنجم: در این مرحله وجود جواب‌های بهینه یا جواب‌های نزدیک به آن تست می‌شود. اگر بیش از یک جواب بهینه یافت شود، میانگین تابع مطلوبیت بهینه انتخاب می‌شود. درواقع آنالیز پایداری شامل حداکثر سازی جواب‌های بهینه است.

$$
u_i[g_i{}^{*}] = \sum_{k=1}^{\alpha_i - 1} w_{ik} \qquad \forall i = 1,2,\dots,N \tag{۶}
$$

با محدودیت زیر:

$$
\sum_{i=1}^{m} [\sigma^{+}(a_k) + \sigma^{-}(a_k)] \leq z^{*} + \varepsilon \tag{۷}
$$

و z^{*} یک مقدار بهینه برنامه‌ریزی خطی است و ε یک عدد بسیار کوچک مثبت است.

۲-۳- مدل تحلیل پوششی داده‌ای پیشنهادی برای ارزیابی و رتبه‌بندی

در این بخش شرایطی را ایجاد می‌کنیم که داده‌های نامطلوب و داده‌های غیرقابل‌کنترل را در مدل‌های تحلیل پوشش داده‌ها وارد کنیم. بدین منظور فرض می‌کنیم $\{D_1 I\}, \{NI\}, \{D_1 O\}, \{NO\}$ نشان‌دهنده اندیس متغیرهایی باشند که x_{ij} و y_{rj} با شرط $i \in \{D_1 I\}$ و $r \in \{D_1 O\}$ ورودی‌ها و خروجی‌های قابل‌کنترل و x_{ij} و y_{rj} $i \in \{NI\}$ و $r \in \{NO\}$ ورودی‌ها و خروجی‌های غیرقابل‌کنترل باشند. همچنین فرض کنیم $\{D_2 I\}, \{UI\}, \{D_2 O\}, \{UO\}$ نشان‌دهنده اندیس متغیرهایی باشند که x_{ij} و y_{rj} با شرط $i \in \{D_2 I\}$ و $r \in \{D_2 O\}$ ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب و x_{ij}، y_{rj} $i \in \{UI\}$ و $r \in \{UO\}$ ورودی‌ها و خروجی‌های نامطلوب باشند. بر این اساس مجموعه امکان تولید اصلاح‌شده (MPPS) در شرایط بازده به مقیاس متغیر را به این شکل معرفی می‌کنیم (Izadikhah & Farzipour, 2015):

که در آن $\{IA\} = \{D_1 I\} \cap \{D_2 I\}$ و $\{ID\} = \{NI\} \cap \{UI\}$ اندیس‌های جدید ورودی‌ها و $\{OA\} = \{D_1 O\} \cap \{D_2 O\}$ و $\{OB\} = \{D_2 O\} \cap \{NO\}$ $\{OC\} = \{D_1 O\} \cap \{UO\}$ و $\{OD\} = \{NO\} \cap \{UO\}$ اندیس جدید خروجی‌هاست. بر این اساس مدل جدیدی با اصلاح و توسعه مدل RDM ارائه می‌دهیم که داده‌های نامطلوب و داده‌های غیرقابل‌کنترل را هم در نظر می‌گیرد. با توجه به خصوصیات مدل RDM، مدل پیشنهادی قادر به استفاده از داده‌های نامنفی می‌باشد. مدل پیشنهادی ما به‌صورت مدل ۹ بیان می‌شود:

$$
MPPS = \left\{ (x,y) \;\middle|\; \begin{array}{ll}
x_i \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}, i \in \{IA\}; & x_i \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}, i \in \{IB\}; \\
x_i \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}, i \in \{IC\}; & x_i \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}, i \in \{ID\}; \\
y_r \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}, r \in \{OA\}; & y_r \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}, i \in \{OB\}; \\
y_r \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}, r \in \{OC\}; & y_r \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}, i \in \{OD\}; \\
\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, & \\
\lambda_j \geq 0, j = 1,\dots,n. &
\end{array} \right\} \tag{۸}
$$

$$
\beta^{*} = max\, \beta \tag{۹}
$$

$$\begin{aligned}
&subjectto\\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le x_{io} - \beta L_{io}^{-},\ i \in \{IA\}; \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le x_{io},\ i \in \{IB\}\\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \ge x_{io} + \beta B_{io}^{-},\ i \in \{IC\}; \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \ge x_{io},\ i \in \{ID\}\\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro} + \beta L_{ro}^{+},\ r \in \{OA\}; \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro},\ r \in \{OB\}\\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \le y_{ro} - \beta B_{ro}^{+},\ r \in \{OC\}; \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \le y_{ro},\ r \in \{OD\}\\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1\\
&\lambda \ge 0
\end{aligned}$$

حد پایین تغییر ورودی‌ها و حد بالای تغییر خروجی‌ها به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned}
L_{io}^{-} &= x_{io} - \min_j\{x_{ij}\},\quad i \in \{IA\}\\
L_{ro}^{+} &= \max_j\{y_{rj}\} - y_{ro},\quad r \in \{OA\}\\
B_{io}^{-} &= \max_j\{x_{ij}\} - x_{io},\quad i \in \{IC\}\\
B_{ro}^{+} &= y_{ro} - \min_j\{y_{rj}\},\quad r \in \{OC\}
\end{aligned} \qquad (۱۰)$$

مدل ۹ کارایی DMU_o را محاسبه می‌کند. بر این اساس امتیاز کارایی بر اساس رابطه $1-\beta^*$ تعریف می‌شود. ازآنجایی‌که معمولاً بیش از یک واحد کارا در ارزیابی‌ها به دست می‌آیند، لذا به‌منظور مقایسه و رتبه‌بندی آن‌ها و مشخص کردن واحدی با بهترین عملکرد نیاز به ارائه مدلی برای رتبه‌بندی داریم. لذا مدل رتبه‌بندی ۱۱ پیشنهادشده است. مدل ۱۱ میزان ابر کارایی DMU_o که برای رتبه‌بندی بکار می‌رود را به‌صورت ρ_p^* محاسبه می‌کند. در این مدل مجموعه واحدهای کارا با E نشان داده‌شده و E/p نشان‌دهنده همه واحدهای کارا به‌جز DMU_p می‌باشد. هر چه مقدار ρ_p^* بیشتر باشد، نشان‌دهنده تأثیر بیشتر DMU_p و رتبه بالاتر آن خواهد داشت.

در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها همه ورودی‌ها و خروجی‌ها هم ارزش و هم اهمیت هستند، ولی در مطالعه موردی در تأمین‌کننده‌های ساپکو بین ارزش ورودی‌ها و خروجی‌ها تفاوت وجود دارد و این تفاوت‌ها به‌صورت محدودیت‌های وزنی به مدل اضافه‌شده‌اند.

$$\begin{aligned}
&\rho_p^* = Max\ \ -\sum_{i\in\{IA\}\cup\{IB\}} v_i x_{io} + \sum_{i\in\{IC\}\cup\{ID\}} v_i x_{io} + \sum_{r\in\{OA\}\cup\{OB\}} u_r y_{ro} - \sum_{r\in\{OC\}\cup\{OD\}} u_r y_{ro} + u_o\\
&subject\ to\\
&-\sum_{i\in\{IA\}\cup\{IB\}} v_i x_{ij} + \sum_{i\in\{IC\}\cup\{ID\}} v_i x_{ij} + \sum_{r\in\{OA\}\cup\{OB\}} u_r y_{rj} - \sum_{r\in\{OC\}\cup\{OD\}} u_r y_{rj} + u_o \le 0 \quad j \in E\backslash p\\
&\sum_{i\in\{IA\}} v_i L_{io}^{-} + \sum_{i\in\{IC\}} v_i B_{io}^{-} + \sum_{r\in\{OA\}} u_r L_{ro}^{+} + \sum_{r\in\{OC\}} u_r B_{ro}^{+} = 1\\
&a_r\Big(\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}\Big) - u_r y_{rj} \le 0,\quad u_r y_{rj} - b_r\Big(\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}\Big) \le 0 \quad r = 1,\dots,s,\ \ j \in E\backslash p\\
&c_i\Big(\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}\Big) - v_i x_{ij} \le 0,\quad v_i x_{ij} - d_i\Big(\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}\Big) \le 0 \quad i = 1,\dots,m,\ \ j \in E\backslash p\\
&v_i, u_r \ge 0,\quad \forall i, r, f
\end{aligned} \qquad (۱۱)$$

۲-۴- الگوریتم پیشنهادی

بر اساس مطالب بیان‌شده، الگوریتم پیشنهادی جهت رتبه‌بندی شرکت‌های تأمین‌کننده به‌صورت زیر خواهد بود:

مرحله ۱: شناسایی معیارهای ورودی و خروجی مؤثر

مرحله ۲: محاسبه‌ی اطلاعات و داده‌های شرکت‌های تأمین‌کننده

مرحله ۳: رتبه‌بندی اولیه داده‌ها با استفاده از مدل پیشنهادی تحلیل پوششی داده‌ها

مرحله ۴: تحلیل نهایی با مدل مطلوبیت تجمعی ستاره

۳- مطالعه موردی، ارزیابی تأمین‌کننده‌های ساپکو

ایران‌خودرو به‌عنوان بزرگ‌ترین شرکت تولید خودرو در خاورمیانه سهم عمده‌ای از بازار تولید خودرو در کشور را دارا است. بر این اساس تأمین قطعات یدکی برای این شرکت از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. شرکت ساپکو به‌عنوان تنها تأمین‌کننده قطعات یدکی ایران‌خودرو نقش بسزایی در زمینه تأمین قطعات اتومبیل را دارد. دراین‌ارتباط، ساپکو به‌طور مستمر اقدام به شناسایی و ارزیابی منابع مختلف ساخت قطعات مواد اولیه و... می‌نماید تا در افزایش کیفیت محصول و بالا بردن رضایت مشتریان گام مهمی بردارد. با توجه به اهمیت مسئله در این پژوهش شرکت ساپکو تمایل دارد بهترین تأمین‌کننده صفحه فشار کلاچ را تعیین کند. در حال حاضر ۲۶ شرکت تأمین قطعات وظیفه تأمین صفحه فشار کلاچ را برای ساپکو بر عهده دارند که در جدول **۲** در پیوست ۱ معرفی‌شده‌اند. به خاطر حفظ مسائل امنیتی شرکت ساپکو، نام تأمین‌کننده‌ها به‌صورت کدگذاری شده ارائه‌شده‌اند. در این راستا نتایج پیاده‌سازی مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی این پژوهش بر شرکت ساپکو به‌صورت زیر بیان‌شده است:

مرحله ۱: شناسایی معیارهای ورودی و خروجی مؤثر در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده

اولین مرحله شناسایی معیارهای مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد که از اهمیت فوق‌العاده برخوردار است؛ بنابراین با بررسی پیشینه پژوهش، مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد موجود در شرکت ساپکو برای ارزیابی پایداری شرکت‌های تأمین‌کننده و انتخاب بهترین آن‌ها، معیارهای زیر تحت عنوان ورودی و خروجی بکار رفته‌اند:

ورودی‌ها:

- فاصله (کیلومتر): این معیار بر زمان تحویل تأثیر دارد (Jakhar,2015).
- قیمت خرید: این مورد شامل هزینه خرید محصولات مانند محصول، موجودی، لجستیک و غیره می‌باشد (Chaharsooghi & Ashrafi, 2014).
- هزینه حمل‌ونقل: این مورد شامل هزینه حمل هر واحد مواد خام از تأمین‌کنندگان به مقصد است (Azadi et al., 2015).
- تعداد گواهی‌نامه‌های استاندارد: این مورد نشان‌دهنده سطح کنترل و نظارت بر کیفیت محصولات است (Bai & Sarkis, 2010).

خروجی‌ها:

- تعداد راه‌های فروش: بر اساس سیستم ساپکو پنج روش فروش شامل اینترنت، روش بلندمدت، روش نقدی، روش پرداخت ارتباطی و در حضور بازاریاب وجود دارد (Portela et al., 2004).
- سود واحد: این معیار نشان‌دهنده سود خالص در هر واحد است و معیار مهمی در سیستم ساپکو است.
- نرخ افزایش موفقیت در حمل‌ونقل: این مورد نشان‌دهنده درصد افزایش توانایی برای انجام سفارشات حمل‌ونقل در دوره وعده داده شده است (Portela et al., 2004).
- نرخ خسارت: نرخ خسارت یکی از معیارهای مهم در ارزیابی تأمین‌کننده است که نشان‌دهنده توانایی تأمین‌کننده در جبران خسارت‌های احتمالی است. این معیار معمولاً به‌صورت درصدی از ارزش کل قرارداد یا مبلغ خسارت محاسبه می‌شود. نرخ خسارت باید به‌گونه‌ای تعیین شود که تأمین‌کننده بتواند خسارت‌های احتمالی را تحمل کند و درعین‌حال انگیزه‌ای برای پیشگیری و کاهش خسارت‌ها ایجاد کند. این معیار می‌تواند در قراردادهای تجاری و قراردادهای بلندمدت بین شرکت‌ها مورداستفاده قرار گیرد (Bai & Sarkis, 2010).

باید توجه داشت که معیار «فاصله» به‌عنوان یک ورودی غیرقابل‌کنترل و معیار «نرخ خسارت» به‌عنوان یک خروجی نامطلوب ارائه‌شده است. شاخص "نرخ افزایش موفقیت در انتقال" معیاری هست که هم می‌تواند مثبت و هم منفی

باشد. جدول **۱** ویژگی انتخاب‌شده را به نمایش گذاشته است:

مرحله ۲: محاسبه اطلاعات و داده‌های شرکت تأمین‌کننده اطلاعات مربوط به ورودی و خروجی‌های ۲۶ شرکت تأمین‌کننده قطعات در سال ۱۳۹۴ را می‌توان در جدول **۲** مشاهده نمود. توصیف آماری ورودی‌ها و خروجی‌ها مطابق جدول **۳** می‌باشد.

طبق اطلاعات به‌دست‌آمده، مشخص است که هیچ تأمین‌کننده‌ای یافت نشد که میزان ورودی‌های آن از مقدار میانگین کمتر باشد. در صورت وجود چنین تأمین‌کننده‌ای به‌طور خودکار واحدی کارا قلمداد می‌شد. از سوی دیگر هیچ تأمین‌کننده‌ای وجود ندارد که خروجی‌های آن بالاتر از میانگین خروجی‌ها باشد که بازهم در صورت وجود چنین تأمین‌کننده‌ای به‌طور خودکار واحدی کارا قلمداد می‌شد.

این دو حالت نشان می‌دهد که هیچ تأمین‌کننده کارای بدیهی وجود ندارد. بعلاوه، همه ورودی‌های تأمین‌کننده ۴ بیشتر از میانگین و همه خروجی‌های آن کمتر از میانگین است و بر این اساس این تأمین‌کننده امتیاز کارایی پایینی خواهد داشت. همچنین بر اساس نظرات کارشناسی محدودیت وزنی مناسب برای ورودی سوم بر اساس رابطه بیان می‌شود.

مرحله ۳: رتبه‌بندی اولیه داده‌ها با استفاده از مدل پیشنهادی تحلیل پوششی داده‌ها

نتیجه اجرای مدل تحلیل پوششی داده‌های پیشنهادشده در جدول **۴** ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که فقط ۵ شرکت تأمین‌کننده به‌عنوان واحدهای کارا شناخته‌شده‌اند. واحدهای کارا عبارت‌اند از تأمین‌کننده‌های ۵، ۱۱، ۱۸، ۲۲ و ۲۵. کارایی این شرکت‌ها برابر ۱ و مابقی کمتر از یک است و به‌عنوان ناکارا شناخته‌شده‌اند.

شرکت تأمین‌کننده ۲۳ دارای کمترین سطح کارایی در بین همه شرکت‌هاست. توجه شود که بعضی از واحدها مانند واحد ۲۵ دارای خروجی با مقدار منفی می‌باشند ولی بااین‌حال کارا هستند.

دلیل این امر این است که این واحد دارای مقدار پایینی در ورودی‌های اول و سوم است و در ورودی سوم دارای کمترین سطح است. از سویی دیگر، تأمین‌کننده ۲۶ را در نظر بگیرید که دارای خروجی منفی است ولی چون مقادیر بالایی در ورودی اول و سوم دارد به‌عنوان واحد ناکارا شناخته شده است. ستون دوم جدول **۴** امتیاز ابرکارایی معرفی‌شده را نشان می‌دهد و ستون چهارم رتبه‌بندی نهایی به کمک مدل تحلیل پوششی داده‌ها را نشان می‌دهد. طبق نتایج، شرکت تأمین‌کننده ۱۸ که دارای بیشترین امتیاز ابرکارایی است، رتبه اول تأمین‌کننده‌های پایدار را از آن خودکرده است.

جدول (۱): شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان از دیدگاه پایداری

شاخص‌ها	نماد	تعریف	نوع شاخص	طبقه‌بندی	منابع
ورودی‌ها	x_{1j}	فاصله	غیرقابل‌کنترل	فاکتور اقتصادی	Jakhar, 2015
	x_{2j}	قیمت خرید	مطلوب	فاکتور اقتصادی	مصاحبه با خبرگان
	x_{3j}	هزینه حمل‌ونقل	نامنفی	فاکتور اقتصادی	Azadi et al., 2015 و بررسی اسناد موجود
	x_{4j}	تعداد گواهی‌نامه‌های استاندارد	قابل‌کنترل	فاکتور محیط‌زیست	Bai & Sarkis, 2010 و بررسی اسناد موجود
خروجی‌ها	y_{1j}	تعداد راه‌های فروش	مطلوب	فاکتور اجتماعی	Portela at al., 2004 و بررسی اسناد موجود
	y_{2j}	سود واحد	نامنفی	فاکتور اقتصادی	مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد شرکت
	y_{3j}	نرخ افزایش موفقیت در حمل‌ونقل	قابل‌کنترل	فاکتور اقتصادی	Portela at al., 2004 و مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد شرکت
	y_{4j}	نرخ خسارت	مطلوب	فاکتور اقتصادی	Bai& Sarkis,2010 و مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد شرکت

جدول (۲): داده‌های ۲۶ شرکت تأمین‌کننده

شماره	تأمین‌کننده‌ها	ورودی				خروجی			
		فاصله	قیمت خرید	هزینه حمل‌ونقل	تعداد گواهینامه‌های استاندارد	تعداد راه‌های فروش	سود واحد	قیمت خرید	فاصله
۱	FFIG	۴۷	۸۰۰۰	۵۰	۲	۳	۱۹۴۰	۲	۰/۸
۲	HKC	۲۱	۸۴۰۰	۱۶۵	۱	۱	۱۷۵۰	-۴/۵	۳/۸
۳	PG	۶۲۴	۷۸۰۰	۱۹۰	۳	۴	۲۶۲۵۰	۳	۱/۲
۴	AICC	۳۷۰	۸۵۰۰	۱۸۰	۲	۱	۱۷۴۰	-۳/۵	۲/۵
۵	HC	۱۷	۷۴۰۰	۲۵	۴	۵	۲۶۲۰	۵	۱/۳
۶	TTFC	۶۲۰	۷۵۰۰	۱۹۰	۴	۴	۲۳۲۰	۱/۸	۱/۱
۷	AAMGC	۳۵	۸۰۰۰	۳۵	۲	۲	۲۱۰۰	۲/۴	۱/۶
۸	SMC	۳۲	۸۰۰۰	۳۵	۵	۴	۱۹۴۰	-۱/۲	۱/۴
۹	AIMC	۴۰	۷۳۰۰	۳۵	۴	۲	۲۶۴۰	-۳/۵	۱/۸
۱۰	AC	۲۰	۸۳۵۰	۱۷۵	۱	۱	۱۷۰۰	-۹	۵/۸
۱۱	PICI	۱۴۱	۷۵۰۰	۷۰	۲	۵	۲۴۶۵	۱۲	۲
۱۲	TKFIC	۸۸۳	۷۳۰۰	۲۱۰	۴	۲	۲۴۹۰	۳/۴	۲
۱۳	LICP	۱۲۱	۸۰۰۰	۶۵	۳	۲	۲۵۰۰	۳	۱/۶
۱۴	MAMC	۳۷	۷۹۰۰	۳۵	۲	۱	۲۰۰۰	۱/۳	۳/۳
۱۵	APCI	۱۳۵	۸۰۰۰	۷۰	۳	۵	۱۹۷۰	-۲/۴	۲/۵
۱۶	PAFI	۱۸۷	۷۸۵۰	۷۵	۳	۳	۲۵۸۰	۲/۱	۱/۷
۱۷	MSTG	۶۱۵	۷۵۰۰	۱۹۰	۳	۳	۲۳۲۰	۶/۴	۳
۱۸	NSG	۴۵۸	۷۳۰۰	۱۴۵	۱	۴	۲۶۰۰	۱۲/۶	۴
۱۹	TC	۱۵	۸۴۰۰	۱۷۵	۱	۱	۱۷۵۰	-۲/۵	۶/۵
۲۰	TSIC	۲۴	۸۵۵۰	۱۸۵	۲	۱	۱۶۸۰	-۳/۸	۸/۲
۲۱	SAFIC	۶۳۵	۸۰۰۰	۱۹۰	۱	۲	۱۸۲۰	-۲/۷	۴
۲۲	SIG	۳۰	۷۵۰۰	۳۰	۱	۴	۲۶۵۰	۶/۸	۰/۸
۲۳	ICI	۱۳۸	۸۴۰۰	۱۸۰	۴	۱	۱۷۶۰	-۷	۹
۲۴	SCC	۲۲۰	۸۰۰۰	۸۵	۱	۱	۱۹۳۰	-۸	۱۰
۲۵	YMC	۲۲	۸۰۵۰	۲۵	۱	۲	۱۷۵۰	-۴/۶	۷
۲۶	ACC	۴۴۵	۷۳۰۰	۱۴۵	۲	۱	۲۶۰۰	-۳/۲	۵

جدول (۳): توصیف آماری ورودی‌ها و خروجی‌های ۲۶ تأمین‌کننده

متغیر (ورودی/خروجی)	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
فاصله	۲۲۸/۱۵۳۸	۲۶۰/۱۶۱۳	۱۵	۸۸۳
قیمت خرید	۷۸۷۶/۹۲۳	۴۰۷/۷۳۲۹	۷۳۰۰	۸۵۵۰
هزینه حمل‌ونقل	۱۱۳/۶۵۳۸	۶۸/۸۸۴۸	۲۵	۲۱۰
تعداد گواهینامه‌های استاندارد	۲/۵	۱/۲۴۰۹۶۷	۱	۵
تعداد راه‌های فروش	۲/۵	۱/۴۴۹۳۸	۱	۵
سود واحد	۲۱۶۳/۰۷۷	۳۷۱/۱۴۴۴	۱۶۸۰	۲۶۵۰
نرخ افزایش موفقیت در حمل‌ونقل	۰/۲۲۶۹۲۳	۵/۵۴۱۱۵۹	-۹	۱۲/۶
نرخ خسارت	۳/۵۳۴۶۱۵	۲/۶۷۵۵۱	۰/۸	۱۰

جدول (۴): نتیجه کارایی و رتبه‌بندی

شماره	امتیاز کارایی	ρ^*	رتبه
۱	۰/۷۶۰۰۰۰۰	-	۸
۲	۰/۴۸۹۳۰۸۱	-	۱۵
۳	۰/۶۴۰۴۵۱۶	-	۹
۴	۰/۳۳۶۵۲۱۶	-	۲۵
۵	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۴/۶۷	۲
۶	۰/۶۲۵۰۰۰۰	-	۱۱
۷	۰/۸۸۰۳۲۴۵	-	۶
۸	۰/۴۸۱۴۷۳۹	-	۱۶
۹	۰/۶۳۴۲۸۵۷	-	۱۰
۱۰	۰/۴۵۱۶۳۸۰	-	۱۸
۱۱	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۱/۲۷	۵
۱۲	۰/۴۱۵۹۱۶۳	-	۲۱
۱۳	۰/۵۱۳۷۷۸۳	-	۱۴
۱۴	۰/۷۸۸۴۷۴۱	-	۷
۱۵	۰/۴۱۹۱۴۵۰	-	۲۰
۱۶	۰/۴۶۳۶۱۲۸	-	۱۷
۱۷	۰/۳۷۲۵۹۴۰	-	۲۳
۱۸	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۶/۰۰	۱
۱۹	۰/۵۴۶۴۵۱۱	-	۱۳
۲۰	۰/۳۵۷۸۳۰۴	-	۲۴
۲۱	۰/۴۴۳۶۰۱۹	-	۱۹
۲۲	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۲/۵۰	۴
۲۳	۰/۲۲۶۷۷۵۷	-	۲۶
۲۴	۰/۵۸۴۸۶۲۴	-	۱۲
۲۵	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۳/۶۷	۳
۲۶	۰/۴۱۲۸۴۲۵	-	۲۲
میانگین	۰/۶۰۹۴۱۸۷۶۵		

این شرکت دارای کمترین سطح ورودی دوم و چهارم بوده و دارای بیشترین سطح خروجی سوم است. میانگین امتیازات کارایی برابر ۰/۶۱ است که حاکی از عملکرد نسبتاً مناسب همه شرکت‌هاست. شکل **۲** عملکرد این ۲۶ شرکت تأمین‌کننده را به تصویر کشیده است.

مرحله ۴: تحلیل نهایی با مدل مطلوبیت تجمعی ستاره

حال به‌منظور تحلیل بیشتر یک سیستم پشتیبان تصمیم با استفاده از روش مطلوبیت تجمعی ستاره در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور با توجه به هدف پژوهش که انتخاب یک تأمین‌کننده مطمئن برای سازمان می‌باشد، ۴ تأمین‌کننده با بهترین رتبه حاصل از مدل تحلیل پوشش داده‌ها در نظر گرفته می‌شوند و روش مطلوبیت تجمعی ستاره در مورد آن‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. این فرآیند دارای مراحل زیر است:

مرحله اول: ساختن ماتریس تصمیم‌گیری

برای حل مدل مطلوبیت تجمعی ستاره نیاز به ماتریس تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی گزینه‌های مرجع داریم که این رتبه‌بندی در جدول **۳** و سطرهای مرتبط با این رتبه‌بندی‌ها از جدول **۲** فراوان است.

مرحله دوم: محاسبه مقدار مطلوبیت حاشیه‌ای

تابع مطلوبیت تجمعی مطابق رابطه ۳ به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$U[g(A_1)] = w_{21} + w_{22} + w_{41} + w_{51} + 0/33w_{52} + w_{61} + 0/89w_{62} + w_{71} + w_{72} + w_{73} + w_{81} + 0/23w_{82}$$

$$U[g(A_2)] = w_{11} + w_{12} + w_{21} + 0/27w_{22} + w_{31} + w_{32} + w_{51} + w_{52} + w_{61} + 0/93w_{62} + w_{71} + 0/67w_{72} + 0/22w_{81}$$

$$U[g(A_۳)]=w_{۱۱}+۰/۰۳w_{۱۲}+w_{۳۱}+w_{۳۲}+w_{۴۱}+w_{۸۱}+w_{۸۲}$$

$$U[g(A_4)] = w_{11} + 0/94w_{12} + w_{21} + 0/47w_{22} + w_{31} + 0/92w_{32} + w_{51} +/33w_{52} + w_{61} + w_{62} + w_{71} + 0/99w_{72}$$

مرحله سوم: تدوین ساختار برنامه‌ریزی خطی

بر اساس مدل ۵ برنامه‌ریزی خطی موردنظر به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$[min]\, z = \sum_{i=1}^{m} [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)]$$

$subject\ to$

$$-w_{11} - w_{12} + 0/73w_{22} - w_{31} - w_{32} + w_{41} - 0/67w_{52} - 0/04w_{62} + 0/33w_{72} + w_{73} + 0/78w_{81} + 0/23w_{81} - \sigma^+(A_1) + \sigma^-(A_1) + \sigma^+(A_2) - \sigma^-(A_2) \ge 0/05$$

$$0/98w_{12} + w_{21} + 0/27w_{22} - w_{41} + w_{51} + w_{52} + w_{61} + 0/93w_{62} + w_{71} + 0/67w_{72} - 0/78w_{81} - w_{82} - \sigma^+(A_2) + \sigma^-(A_2) + \sigma^+(A_3) - \sigma^-(A_3) \ge 0/05$$

$$-0/92w_{12} - w_{21} - 0/47w_{22} + 0/08w_{32} + w_{41} - w_{51} - 0/33w_{52} - w_{61} - w_{62} - w_{71} - 0/99w_{72} + w_{81} + w_{82} - \sigma^+(A_3) + \sigma^-(A_3) + \sigma^+(A_4) - \sigma^-(A_4) \ge 0/05$$

$$w_{11} + w_{12} + w_{21} + w_{22} + w_{31} + w_{32} + w_{41} + w_{51} + w_{52} + w_{61} + w_{62} + w_{71} + w_{72} + w_{73} + w_{81} + w_{82} = 1$$

$$w_{ij} \ge 0, \sigma^+(a_k) \ge 0, \sigma^-(a_k) \ge 0$$

مرحله چهارم: حل برنامه‌ریزی خطی و مقایسه نتایج

پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی با استفاده از نرم‌افزار لینگو نتایج زیر حاصل گردید:

Z^*= ۰

w_{12}= ۰/۰۵۴۷۶۸۰۳۷۵ w_{21}= ۰/۰۵۳۸۶۱۷۸۷۵

w_{22}= ۰/۰۰۷۵۰۹۶۶۲۵ w_{32}= ۰/۰۴۹۷۱۱۴۸۷۵

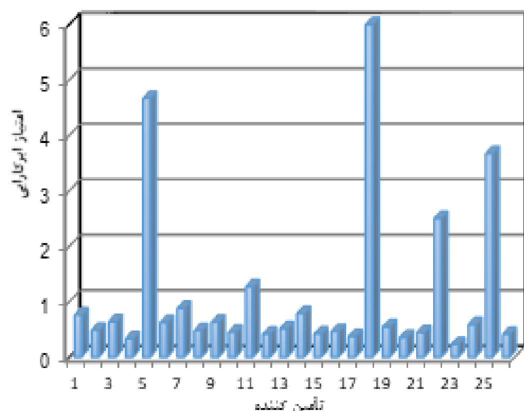
w_{41}= ۰/۰۷۴۱۳۰۱۵ w_{51}= ۰/۰۲۰۰۸۷۰۶۲۵

w_{52}= ۰/۱۰۳۵۲۱۳۹۸۸ w_{61}= ۰/۰۳۱۶۹۶۴۲۵

w_{62}= ۰/۰۲۷۶۷۸۵۷۵ w_{71}= ۰/۱۰۵۲۵۴۸

w_{73}= ۰/۱۷۱۰۶۶۲۵ w_{81}= ۰/۲۵۴۸۸۹۳۲۱۳

با جایگذاری اوزان فوق در تابع ارزش کلی (رابطه ۳)، مطلوبیت هریک از گزینه‌ها مطابق با جدول **۵** حاصل می‌شود.



شکل (۲): وضعیت عملکرد ۲۶ شرکت تأمین‌کننده ساپکو.

جدول (۵): مطلوبیت کلی تأمین‌کنندگان منتخب

تأمین‌کنندگان منتخب	مطلوبیت کلی
NSG	۰/۶۰۶۲۰۷۵۰۵۹
HC	۰/۵۰۲۷۴۲۹۸۵۱
YMC	۰/۳۷۹۸۲۶۳۱۹۶
SIG	۰/۳۷۰۷۷۵۸۸۹۵

نتایج نشان می‌دهد که تأمین‌کننده حائز رتبه اول یعنی NSG دارای مطلوبیت ۶۰/۶ درصدی به‌عنوان پایدارترین تأمین‌کننده شرکت ساپکو می‌باشد. نکته حائز اهمیت این است که هیچ یک از تأمین‌کننده‌ها دارای ۱۰۰ درصد مطلوبیت به‌عنوان پایدارترین تأمین‌کننده شرکت ساپکو نشده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده پایدار با ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها و مطلوبیت تجمعی ستاره پرداخته است. سیستم پشتیبان تصمیم جدید، ضمن گرفتن کمترین اطلاعات از تصمیم‌گیرنده قادر است مطلوب‌ترین گزینه را برای تصمیم‌گیرنده ارائه دهد. با به دست آوردن تابع مطلوبیت می‌توان میزان مطلوبیت هر تأمین‌کننده را محاسبه نمود و اینکه حل مدل در ابعاد وسیع نیازمند به

محاسبات پیچیده دارد. می‌توان با نرم‌افزاری محاسبات پیچیده را تسهیل نمود. باید توجه داشت که رتبه‌بندی گزینه‌های مرجع باید به‌دقت انجام گیرد تا تابع مطلوبیت به‌دست‌آمده کارایی لازم را داشته باشد. در ادامه اجرای سیستم پشتیبان تصمیم پیشنهادی منجر به نتایج مهم ذیل گردید که در ادامه به ترتیب آورده شده است:

۱) شناسایی ۸ شاخص تصمیم‌گیری پیرامون انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در شرکت ساپکو که در جدول **۲** ارائه‌شده است.

۲) اجرای روش تحلیل پوشش داده‌ای بهبودیافته به‌منظور مشخص کردن واحد کارا و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها: در ادامه از تحلیل پوشش داده‌ای بهبودیافته به‌منظور ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری بکار گرفته شد. نتایج روش تحلیل پوشش داده‌ای بهبودیافته منجر به تمرکز بر ارزیابی و انتخاب از بین یک مجموعه واحد کارا در مسئله‌ای با داشتن معیارهای متعدد ورودی و خروجی هدف‌گذاری شد. نتایج روش تحلیل پوشش داده‌ای بهبودیافته منجر به یک لیست رتبه‌بندی از واحدهای کارا گردید. بر این اساس همان‌طور در جدول ۷ مشخص است گزینه‌های NSG، HC، YMC وSIG به‌عنوان واحدهای کارا معرفی گردیدند و به‌عنوان بهترین رتبه کاندیدای انتخاب تأمین‌کننده در شرکت موردمطالعه بوده‌اند. درنهایت، با به‌کارگیری رویکرد مطلوبیت تجمعی ستاره (UTASTAR) به تخمین مطلوبیت رتبه کاندیدای تأمین‌کنندگان منتخب در صنعت موردمطالعه پرداخته شد که نتایج منجر به دستیابی به دو هدف عمده گردید:

۱) انتخاب مناسب‌ترین گزینه: زمانی که فرد تصمیم‌گیرنده دو یا چند تأمین‌کننده پایدار را مدنظر دارد و می‌خواهد بداند با توجه به شاخص-های تأمین‌کننده پایدار که برای وی دارای اهمیت است، کدام‌یک از این تأمین‌کننده‌ها می‌توانند به‌عنوان بهترین تأمین‌کننده پایدار برای شرکت باشند. در این مرحله کاربر اطلاعات موردنیاز در مورد تأمین‌کنندگان را وارد نموده و مدل بهترین و مناسب‌ترین تأمین‌کننده را به وی معرفی خواهد نمود. بر این اساس با توجه به تحلیل‌های مندرج در جدول **۵** مشخص گردید که گزینه NSG با داشتن مطلوبیت ۰/۶۱ به‌عنوان مطلوبیتی‌ترین و مناسب‌ترین گزینه می‌باشد.

۲) نتیجه‌گیری در مورد یک تأمین‌کننده خاص: چنانچه فرد تصمیم‌گیرنده به دنبال اتخاذ این تصمیم باشد که یک تأمین‌کننده تا چه حد می‌تواند تأمین‌کننده مناسبی برای شرکت باشد، این مدل آن را مشخص می‌نماید. به‌عبارت‌دیگر مدل یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری ارائه می‌نماید که به کمک آن می‌توان مطلوبیت هر تأمین‌کننده را برآورد نمود. درواقع در اینجا، با انجام محاسبات گسترده و پیچیده، تصمیم-گیرنده می‌تواند در مورد یک تأمین‌کننده خاص تصمیم قطعی بگیرد. همان‌طور که نتایج مشخص است گزینه NSG به‌عنوان مطلوب‌ترین گزینه تصمیم‌گیری می‌باشد ولی در صورت نبودن شرایط می‌توان از گزینه‌های دیگر استفاده کرد. سایر گزینه‌ها به دلیل مطلوبیت پائین مناسب تصمیم‌گیری و انتخاب برای شرکت ساپکو نیستند.

جدول (۶): ارزش کلی هر یک از معیارها و مقایسه با رتبه‌بندی اولیه و مدل کلاسیک

تأمین‌کنندگان منتخب	مطلوبیت کلی	رتبه نسبت به ارزش متناظر مطلوبیت تجمعی ستاره	رتبه‌بندی روش تحلیل پوشش داده‌ای
NSG	۰/۶۰۶۲۰۷۵۰۵۹	۱	۱
HC	۰/۶۰۶۲۰۷۵۰۵۹	۲	۲
YMC	۰/۵۰۲۷۴۲۹۸۵۱	۳	۳
SIG	۰/۳۷۹۸۲۶۳۱۹۶	۴	۴

۵- مراجع

Azadi, M., Jafarian, M., Saen, R. F., & Mirhedayatian, S. M. (2015). A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. *Computers & operations research*, *54*, 274-285. **DOI:** https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.03.002

Bai, C., & Sarkis, J. (2010). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. *International journal of production economics*, *124*(1), 252-264. **DOI:** https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.023

Ballew, P. D., & Schnorbus, R. H. (1994). The impact of the auto industry on the economy. *Chicago Fed Letter*, *79*, 1-4.

Chaharsooghi, S. K., & Ashrafi, M. (2014). Sustainable supplier performance evaluation and selection with neofuzzy TOPSIS method. *International scholarly research notices*, *2014*(1), 434168. **DOI:** https://doi.org/10.1155/2014/434168

Chai, J., Liu, J. N., & Ngai, E. W. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert systems with applications*, *40*(10), 3872-3885. **DOI:** https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.040

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, *2*(6), 429-444. **DOI:** https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8

Ehsanifar, M., Wood, D. A., & Babaie, A. (2021). UTASTAR method and its application in multi-criteria warehouse location selection. *Operations Management Research*, *14*, 202-215. **DOI:** https://doi.org/10.1080/713682767

Handfield, R. B., & Nichols Jr, E. L. (1999). Introduction to. *Supply Chain Management, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ*, 1-29.

Izadikhah, M., & Farzipoor Saen, R. (2015). A new data envelopment analysis method for ranking decision making units: an application in industrial parks. *Expert Systems*, *32*(5), 596-608. **DOI:** https://doi.org/10.1111/exsy.12112

Jakhar, S. K. (2015). Performance evaluation and a flow allocation decision model for a sustainable supply chain of an apparel industry. *Journal of cleaner production*, *87*, 391-413. **DOI:** https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.089

Portela, M. C., & Thanassoulis, E. (2010). Malmquist-type indices in the presence of negative data: An application to bank branches. *Journal of banking & Finance*, *34*(7), 1472-1483. **DOI:** https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2010.01.004

Portela, M. S., Thanassoulis, E., & Simpson, G. (2004). Negative data in DEA: A directional distance approach applied to bank branches. *Journal of the operational research society*, *55*(10), 1111-1121. **DOI:** https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601768

Ruggiero, J. (1996). On the measurement of technical efficiency in the public sector. *European journal of operational research*, *90*(3), 553-565. **DOI:** https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00346-7

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production*, *16*(15), 1699-1710. **DOI:** https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020

Syrjänen, M. J. (2004). Non-discretionary and discretionary factors and scale in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, *158*(1), 20-33. **DOI:** https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00362-X